

D.M. LL. PP. 11-03-1988

DECRETO MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 11 MARZO 1988 (G.U. 1-6-1988, n. 127 suppl.)

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione

CIRC. LL.PP. 24-09-1988

Circolare Ministero Lavori Pubblici, 24 settembre 1988, n. 30483
(Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale)

Legge 2 febbraio 1974 n.64, art.1 - D.M. 11 marzo 1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione

ART. 1

Sono approvate le norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, di cui alla legge 2-2-1974, n. 64, predisposte dal servizio tecnico centrale ed allegate al presente decreto.

ART. 2

Le anzidette norme entrano in vigore sei mesi dopo la pubblicazione del presente decreto nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

ART. 3

In via transitoria continuano ad applicarsi le norme di cui al decreto ministeriale 21-1-1981 per le opere in corso, per le opere per le quali sia stato stipulato regolare contratto, per le opere per le quali sia stato pubblicato il bando di gara per l'appalto, per le opere comprendenti strutture disciplinate dalla legge n. 1086/71 per le quali è stata già presentata la denuncia a sensi dell'art. 4 della stessa legge.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione

A. DISPOSIZIONI GENERALI

A.1 OGGETTO E SCOPO DELLE NORME

Con le presenti norme si stabiliscono i principali criteri da seguire:

- per il progetto e per l'esecuzione di indagini sui terreni, intesi quali terre o rocce nella loro sede;
- per il progetto, per la costruzione e per il collaudo di opere di fondazione, opere di sostegno, manufatti di materiali sciolti, manufatti sotterranei;
- per lo studio della stabilità dei pendii naturali;
- il progetto di stabilizzazione dei pendii naturali e per il progetto di scavi; per il progetto delle discariche e delle colmate;
- per il progetto degli interventi di consolidamento di ammassi di terreni e rocce; per il progetto degli interventi di ristrutturazione e consolidamento di esistenti strutture di fondazione e di sostegno;
- per lo studio di fattibilità di opere e di insiemi di opere e relativi interventi nel sottosuolo che interessano grandi aree o grandi volumi di terreno, nonché per lo studio e la valutazione degli effetti di emungimenti di fluidi dal sottosuolo e di perturbazione del regime delle pressioni interstiziali.

I principi ed i criteri hanno lo scopo di garantire la sicurezza e la funzionalità del

complesso opere-terreni e di assicurare in generale la stabilità del territorio sul quale si inducono sollecitazioni e deformazioni.

Le presenti norme si applicano a tutte le opere pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, come disposto dall'art. 1 della legge 2-2-1974, n. 64, ivi comprese le zone dichiarate sismiche ai sensi dell'art. 3, titolo II, della citata legge. Le presenti norme valgono anche per le opere speciali di cui al punto D dell'art. 1 della sopra richiamata legge, salvo quanto disposto dalle norme tecniche relative alle singole categorie di opere speciali.

Per quanto attiene al calcolo ed al dimensionamento delle strutture e dei manufatti considerati nelle presenti norme, ai relativi materiali ai procedimenti e metodi costruttivi si rimanda alle vigenti norme specifiche e in particolare alle norme emanate in applicazione della legge 5-11-1971, n. 1086, salvo quanto diversamente prescritto nelle sezioni seguenti.

A.2 PRESCRIZIONI GENERALI

Le scelte di progetto, i calcoli e le verifiche devono essere sempre basati sulla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo ottenuta per mezzo di rilievi, indagini e prove.

I calcoli di progetto devono comprendere le verifiche di stabilità e le valutazioni del margine di sicurezza nei riguardi delle situazioni ultime che possono manifestarsi sia nelle fasi transitorie di costruzione sia nella fase definitiva per l'insieme manufatto-terreno. Le situazioni di esercizio tenendo conto delle possibili variazioni di sollecitazione e deformazione, devono ugualmente essere verificate con la dovuta sicurezza. La scelta dei coefficienti di sicurezza deve essere motivata in rapporto al grado di approfondimento delle indagini sui terreni, all'affidabilità dalla valutazione delle azioni esterne, tenuto conto del previsto processo costruttivo e dei fattori ambientali.

L'assunzione di valori inferiori a quelli prescritti nei capitoli successivi deve essere giustificata con una analisi documentata. Il progetto deve comprendere anche una valutazione dei prevedibili spostamenti dell'insieme opera-terreno, nonché un giudizio sull'ammissibilità di tali spostamenti in rapporto alla sicurezza e funzionalità del manufatto e di quelli ad esso adiacenti.

L'intensità e la direzione delle azioni statiche e dinamiche da considerare nei calcoli geotecnici deve essere stabilita sulla base di una analisi che tenga conto della probabilità e della frequenza di applicazione, del tempo di permanenza, della natura dei terreni presenti nel sottosuolo e del tipo di opera.

In presenza di azioni indotte da sismi si adotteranno i criteri di valutazione del carico limite e del relativo coefficiente di sicurezza prescritti dalle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (D.M. 19-6-1984).

Nel progetto devono essere considerate le fasi e le modalità costruttive.

In corso d'opera si deve controllare la rispondenza tra la caratterizzazione geotecnica assunta in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il progetto esecutivo. Nel caso di costruzioni di modesto rilievo in rapporto alla stabilità globale dell'insieme opera-terreno, che ricadano in zone già note, la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo può essere ottenuta per mezzo della raccolta di notizie e dati sui quali possa responsabilmente essere basata la progettazione. In questo caso i calcoli geotecnici di stabilità e la valutazione degli spostamenti possono essere omessi, ma la idoneità delle soluzioni progettuali adottate deve essere motivata con apposita relazione.

A.2. Prescrizioni generali.

Nella scelta dei lavori dei coefficienti di sicurezza si terrà conto dei seguenti fattori:

- requisiti e importanza dell'opera con particolare riguardo alla sicurezza delle persone;
- grado di conoscenza sulla costituzione del sottosuolo e sulle proprietà dei terreni;
- caratteristiche ed intensità delle azioni considerate e loro probabilità di verificarsi (secondo i criteri esposti dalle norme tecniche sui carichi e sovraccarichi approvate con D.M. 3-10-1978) (Ora sostituito dal D.M. 12-2-1982)
- grado di approssimazione dei metodi di calcolo;

- influenza delle variazioni dei parametri caratteristici dei terreni sui valori dei coefficienti di sicurezza;
- verifica della rispondenza tra la caratterizzazione geotecnica assunta in progetto e l'effettiva situazione dei luoghi;
- esperienza locale.

Per le opere di rilevante importanza, in rapporto anche alla sicurezza dell'opera stessa e a tutela della pubblica incolumità, la richiesta valutazione dei prevedibili spostamenti potrà essere controllata durante e dopo la costruzione dell'opera, secondo un programma di misure e di osservazioni da definire in progetto.

Particolare attenzione sarà dedicata alle opere provvisorie quali scavi con o senza armatura, opere di sostegno, procedimenti per abbassamenti della falda, ancoraggi, consolidamenti, ecc.

Le opere provvisorie vanno progettate con criteri analoghi a quelli delle opere a carattere permanente.

A.3 ELABORATORI GEOTECNICI E GEOLOGICI

I risultati delle indagini, degli studi e dei calcoli geotecnici devono essere esposti in una relazione geotecnica, parte integrante degli atti progettuali.

Nei casi in cui le presenti norme prescrivano uno studio geologico, deve essere redatta anche una relazione geologica che farà parte integrante degli atti progettuali.

A.3. Elaborati geotecnici e geologici.

La relazione geotecnica conterrà:

a) illustrazione del programma di indagini con motivato giudizio sulla affidabilità dei risultati ottenuti; caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in relazione alle finalità da raggiungere con il progetto effettuato sulla base dei dati raccolti con le indagini eseguite.

La relazione deve essere corredata da una planimetria con le ubicazioni delle indagini sia quelle appositamente effettuate, che quelle di carattere storico e di esperienza locale, dalla documentazione sulle indagini in sito ed in laboratorio, dal profilo litologico e stratigrafico del sottosuolo con la localizzazione delle falde idriche;

b) scelta e dimensionamento del manufatto o dell'intervento; risultati dei calcoli geotecnici, conclusioni tecniche; procedimenti costruttivi e controlli. La relazione deve essere completa in tutti gli elaborati grafici ed analitici necessari per la precisa comprensione del progetto.

La relazione geologica definirà con preciso riferimento al progetto i lineamenti geomorfologici della zona nonché gli eventuali processi morfogenici e i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva, la successione litostratigrafica locale con definizione della genesi e distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fessurazione e della loro degradabilità; preciserà inoltre i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità in genere e degli ammassi rocciosi in particolare, e fornirà lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

La relazione sarà corredata dagli elaborati grafici, carte e sezioni geologiche, ecc. e dalla documentazione delle indagini in sito ed in laboratorio, sia quelle appositamente effettuate, che quelle di carattere storico e di esperienza locale.

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo e la ricostruzione geologica debbono essere reciprocamente coerenti.

A tale riguardo la relazione geotecnica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

A.4 COLLAUDO.

Il collaudo dovrà accertare la rispondenza delle opere eseguite alle previsioni progettuali e la rispondenza della esecuzione alla presente normativa, tenendo conto di tutti i dati rilevati prima e durante la costruzione. Ulteriori indagini e prove saranno effettuate nel corso del collaudo, se ritenute necessarie al fine di accertare l'idoneità dell'opera all'uso cui è destinata.

B. INDAGINI GEOTECNICHE

B.1 OGGETTO DELLE NORME

Le presenti norme riguardano il progetto e l'esecuzione delle indagini geotecniche. Queste indagini hanno lo scopo di raccogliere tutti i dati qualitativi e quantitativi occorrenti per il progetto e per il controllo del comportamento dell'opera nel suo insieme ed in rapporto al terreno.

B. Indagini geotecniche

B.1. Oggetto delle norme.

Tra i dati geotecnici necessari per il progetto dell'opera saranno in particolare presi in considerazione la stratigrafia, le caratteristiche delle falde idriche, le proprietà geotecniche dei terreni e tutti gli altri elementi significativi del sottosuolo, nonché le proprietà dei materiali da impiegare per la costruzione dei manufatti di materiali sciolti.

B.2 INDAGINI NELLE FASI DI PROGETTO DI COSTRUZIONE.

Nelle fasi preliminari della progettazione si potrà far riferimento a informazioni di carattere geologico e a dati geotecnici deducibili dalla letteratura oppure noti attraverso indagini eseguite precedentemente sulla medesima area.

Per il progetto di massima dovranno essere effettuate indagini geologiche e geotecniche per valutare la stabilità di insieme della zona prima ed a seguito della costruzione dell'opera in progetto, e per individuare i problemi che la natura e le caratteristiche geotecniche dei terreni pongono nelle scelte delle soluzioni progettuali e dei corrispondenti procedimenti costruttivi anche per confrontare le soluzioni possibili.

Nella fase di progetto esecutivo le indagini devono essere dirette ad approfondire la caratterizzazione geotecnica qualitativa e quantitativa del sottosuolo per consentire la scelta della soluzione progettuale, di eseguire i calcoli di verifica e definire i procedimenti costruttivi.

Per i manufatti di materiali sciolti, l'indagine deve comprendere anche la ricerca e lo studio dei materiali da impiegare nella costruzione.

Le indagini, gli studi ed i rilievi devono essere portati a termine nei tempi utili alla compilazione del progetto, salvo successivi sviluppi in relazione alle esigenze della fase costruttiva.

La validità delle ipotesi di progetto dovrà essere controllata durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

B.2. Indagini nelle fasi di progetto e di costruzione.

Le indagini saranno sviluppate secondo gradi di approfondimento e di ampiezza commisurati nelle varie fasi, del progetto alla costruzione, attraverso le quali si giunge alla realizzazione dell'opera.

Per definire il profilo geotecnico, le proprietà fisico-meccaniche dei terreni, la posizione delle falde idriche e le loro caratteristiche, si raccomanda di eseguire specifiche indagini, in sito ed in laboratorio, secondo un programma definito in base alle caratteristiche del sottosuolo e dell'opera in progetto.

Opere che incidano grandi aree e che incidano profondamente sul territorio, richiedono un progetto di fattibilità secondo i criteri di cui alla sez. H della norma.

Nel caso di opere di notevole mole e di importanza dal punto di vista della sicurezza o che interessino terreni con caratteristiche meccaniche scadenti, si consiglia di effettuare il controllo del comportamento dell'opera durante e dopo la costruzione.

A tale fine sarà predisposto un programma di osservazioni e misure (spostamenti di punti significativi, pressioni neutre, ecc.) di ampiezza commisurata all'importanza dell'opera e alla complessità della situazione geotecnica.

Ai fini del progetto e della esecuzione delle indagini, possono essere utilmente

consultate le raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche pubblicate a cura dell'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.).

B.3 AMPIEZZA DELL'INDAGINE

Lo studio geotecnico deve essere esteso alla parte del sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il comportamento del manufatto stesso (volume significativo).

L'ampiezza dell'indagine deve perciò essere proporzionata alle dimensioni, al tipo, alle caratteristiche strutturali, all'importanza dell'opera, alla complessità del sottosuolo ed allo stato delle conoscenze sulla zona in esame.

B.3. Ampiezza dell'indagine.

Il volume significativo ha forma ed estensione diverse a seconda del problema in esame e va individuato caso per caso, in base alle dimensioni dell'opera ed alla natura e caratteristiche dei terreni del sottosuolo.

B.4 MEZZI DI INDAGINE.

Il programma delle indagini deve essere formulato in base alla prevedibile costituzione del sottosuolo, tenuto conto dei problemi in esame. I mezzi di indagine devono essere scelti caso per caso in relazione alla natura ed alla successione dei terreni nel sottosuolo alle finalità ed alle caratteristiche dell'opera.

Le indagini geotecniche comprendono tra l'altro perforazioni di sondaggi o scavi, o prelievo di campioni, rilievo delle falde acquifere, prove in sito, prove in laboratorio, prospezioni geofisiche.

Il programma deve essere sufficientemente flessibile per consentire eventuali modifiche conseguenti alle conoscenze che si otterranno nel corso delle indagini.

B.4. Mezzi d'indagine. Tecniche d'indagine.

A titolo indicativo nella tabella 1 sono elencati i mezzi di indagine di più frequente uso.

Il tipo e la tecnica esecutiva delle perforazioni di sondaggio saranno scelti in funzione della natura dei terreni e delle operazioni da compiere nel corso del sondaggio (prelievo di campioni rimaneggiati o indisturbati, rilievi sulle falde idriche, prove di carattere meccanico, ecc.).

I dati forniti dalle prospezioni geofisiche (con metodi elettrici, sismici, ecc.) saranno in ogni caso tarati e controllati con quelli forniti dalle altre indagini. Di regola, salvo casi particolari, essi non possono essere impiegati direttamente nei calcoli statici.

La scelta dei mezzi di indagine sarà effettuata in fase di progetto dell'indagine e verificata durante lo svolgimento dell'indagine stessa. Svolgimento delle indagini in sito.

La posizione dei punti di indagine sarà rilevata topograficamente e riportata su una planimetria.

Pozzi cunicoli e trincee saranno eseguiti nel rispetto delle norme di sicurezza per gli scavi all'aperto e in sotterraneo, badando in particolare a garantire l'accessibilità per tutto il tempo di durata delle indagini.

Gli scavi saranno realizzati in modo tale da non causare apprezzabili modifiche alla situazione esistente, sia dal punto di vista statico che da quello idraulico. Dopo la loro utilizzazione, salvo il caso che vengano direttamente inglobati nell'opera, essi vanno accuratamente riempiti ed intasati con materiale idoneo in modo da ripristinare, per quanto possibile, la situazione iniziale.

Nel corso dell'esecuzione di perforazione di sondaggio, particolare cura deve essere posta per evitare di provocare mescolanze tra terreni diversi e di porre in comunicazione falde idriche.

I fori di sondaggio, salvo il caso che vengano utilizzati per l'installazione di strumenti di misura (ad es.: inclinometri piezometri, ecc.), devono essere accuratamente richiusi, procedendo al sistematico intasamento a partire dal fondo con materiali idonei (ad es.: malte cementizie, miscele cemento-argilla, sabbia fine, ecc.). Il prelievo di campioni rimaneggiati può essere effettuato con le normali attrezzature di scavo o di perforazione. I campioni rimaneggiati devono essere granulometricamente

completi, avere dimensioni tali da consentire il riconoscimento dei terreni attraversati e devono essere in numero sufficiente per costruire i profili geologico e geotecnico. I campioni rimaneggiati devono essere conservati in cassette o barattoli con chiare e durevoli indicazioni sul numero del sondaggio o del pozzo e sulle quote di prelievo; non devono essere esposti all'azione degli agenti atmosferici e devono essere conservati per lo meno per tutta la durata dell'indagine.

Il prelievo di campioni indisturbati da scavi o perforazioni di sondaggio deve essere eseguito da personale specializzato, sotto il controllo di tecnici qualificati, con utensili ed attrezzature particolari (campionatori). Il tipo di campionatore sarà scelto in relazione al tipo di terreno ed alle finalità dell'indagine. Le dimensioni dei campioni indisturbati e la tecnologia di prelievo saranno stabilite in base alle prove da eseguire in laboratorio ed alle caratteristiche del terreno.

I campioni indisturbati devono essere sigillati e conservati in modo che mantengano invariati il contenuto in acqua e la struttura fino al momento della utilizzazione.

Su ciascun campione indisturbato saranno riportati i dati necessari per stabilire la posizione del campione e le caratteristiche del campionatore adoperato.

I risultati delle indagini, condotte da personale tecnico specializzato, saranno documentati con:

- una planimetria generale della zona con riportati tutti i punti di indagine direttamente rilevati sul terreno;
- i profili litostratigrafici di eventuali scavi e fori di sondaggio;
- i particolari esecutivi delle prove o misure eseguite;
- dati sulla posizione e tipo di eventuali falde idriche;
- notizie degli avvenimenti particolari verificatisi durante l'esecuzione dei lavori ed ogni altro eventuale dato utile per la caratterizzazione geotecnica e geologica del sottosuolo.

Si indicheranno, altresì, i tipi e le caratteristiche di tutte le attrezzature impiegate. Indagini di laboratorio.

Le indagini di laboratorio hanno lo scopo di determinare:

- le proprietà indici per l'identificazione e la classifica geotecnica dei terreni;
- le proprietà fisico-meccaniche (peso dell'unità di volume, resistenza a rottura, deformabilità, permeabilità, ecc.).

La determinazione delle proprietà indici può essere effettuata sia su campioni rimaneggiati che su campioni indisturbati; le proprietà fisico-meccaniche devono essere determinate con prove eseguite su campioni indisturbati.

Le prove sui materiali da costruzione devono essere effettuate su campioni significativi dei materiali disponibili preparati in laboratorio secondo modalità da stabilire in relazione alle condizioni di posa in opera previste ed alla destinazione del manufatto.

I risultati delle prove di laboratorio devono essere accompagnati da chiare indicazioni sulle modalità sperimentali adottate.

B.5 RELAZIONI SULLE INDAGINI

I risultati delle indagini devono essere oggetto di apposite relazioni, parte integrante del progetto. Queste devono comprendere ed illustrare tutti i dati obiettivi e sviluppare le elaborazioni ed i calcoli necessari al fine di giungere alle scelte progettuali ed alle verifiche prescritte al punto A 2 e nelle sezioni seguenti. La relazione geologica è prescritta per le opere a cui fanno riferimento le sezioni E, F, G, H, I, L, M e O, della presente normativa e per le aree dichiarate sismiche o soggette a vincoli particolari.

Essa deve comprendere ed illustrare la situazione litostratigrafica locale, con definizione dell'origine e natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità, i lineamenti morfologici della zona, nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali; deve precisare inoltre i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea. La relazione geotecnica sulle indagini è prescritta per tutte le opere oggetto delle presenti norme. Essa deve comprendere ed illustrare la localizzazione della area

interessata, i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate, nonché la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche della costruenda opera, ed il programma di eventuali ulteriori indagini, che si raccomandano per la successiva fase esecutiva. Le relazioni devono essere corredate degli elaborati grafici e della documentazione delle indagini in sito ed in laboratorio necessari per la chiara comprensione dei risultati. La caratterizzazione geotecnica e la ricostruzione geologica devono essere reciprocamente coerenti. A tale riguardo la relazione geotecnica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

TABELLA 1

Finalità	Principali mezzi di indagine	
Profili geologico e geotecnico	sondaggi pozzi trincee cunicoli prospezioni geofisiche	con prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati
Proprietà fisico meccaniche	Terreni a grana fine	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio su campioni • prove penetrometriche • prove scissometriche • prove di carico su piastra • prove speciali in sito (prove di taglio prove pressiometriche, ecc.)
	Terreni a grana grossa	<ul style="list-style-type: none"> • prove penetrometriche • prove di carico su piastra
	Rocce	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio su campioni • prove di carico su piastra • prove speciali in sito (prove di taglio prove pressiometriche, ecc.)
Rilievi sulle falde idriche	Terreni di qualsiasi tipo	<ul style="list-style-type: none"> • piezometri • sondaggi • pozzi • trincee • cunicoli • prospezioni geofisiche

Permeabilità	Terreni a grana grossa o rocce porose molto fratturate	<ul style="list-style-type: none"> • prove idrauliche in fori di sondaggio • prove di emungimento da pozzi
	Terreni a grana fine	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio su campioni indisturbati • prove piezometriche

Verifica di procedimenti tecnologici	Palificate	<ul style="list-style-type: none"> • Prove di carico su pali singoli o gruppi di pali
	Impermeabilizzazioni	<ul style="list-style-type: none"> • prove di impermeabilità in sito e misura di quote piezometriche prima e dopo l'intervento
	Consolidamenti (terreni o rocce)	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio • determinazione delle proprietà meccaniche in sito eventualmente con l'ausilio di indagini geofisiche prima e dopo l'intervento

C. OPERE DI FONDAZIONE

C.1 OGGETTO DELLE NORME

Le presenti norme riguardano le fondazioni di manufatti di qualsiasi tipo. Per quanto attiene al calcolo delle strutture costituenti la fondazione, ai materiali impiegati, ai procedimenti e metodi costruttivi, valgono le vigenti norme specifiche. Per le fondazioni di manufatti ricadenti in zone sismiche devono essere rispettate le prescrizioni di cui al titolo II della legge 2-2-1974, n. 64. Per le fondazioni di opere speciali, le presenti norme devono essere integrate con quanto prescritto nelle norme specifiche.

C. Opere di fondazione

C.1. Oggetto delle norme.

Le fondazioni sono distinte in fondazioni dirette (ad es.: plinti, travi, platee) e fondazioni profonde (ad es.: pali, pozzi, cassoni, paratie).

C.2. CRITERI DI PROGETTO

Il progetto delle fondazioni di un'opera deve essere sviluppato congiuntamente al progetto dell'opera in elevazione tenendo conto delle modalità costruttive.

L'opera di fondazione deve avere i seguenti requisiti:

- lo stato di tensione indotto nel terreno deve essere compatibile con le caratteristiche di resistenza del terreno stesso nella situazione iniziale ed in quelle che potranno presumibilmente verificarsi nel tempo; - gli spostamenti delle strutture di fondazione devono essere compatibili con i prefissati livelli di sicurezza e con la funzionalità delle strutture in elevazione.

Deve essere tenuta in debito conto l'influenza che l'opera in progetto può avere su fondazioni e su costruzioni esistenti nelle vicinanze.

Il progetto deve comprendere i risultati delle indagini, rilievi, studi atti ad individuare e valutare i fattori che possono influire sul comportamento della fondazione; la scelta del tipo di fondazione;

la verifica di stabilità del complesso terreno-fondazione; la previsione dei cedimenti e del loro andamento nel tempo; la scelta dei procedimenti costruttivi; le verifiche delle strutture e delle opere di fondazione.

C.2. Criteri di progetto.

Il comportamento delle fondazioni è condizionato da numerosi fattori, dei quali si elencano quelli che generalmente occorre considerare:

a) Terreni di fondazione:

- litostratigrafia;
- proprietà fisiche e meccaniche;
- presenza e caratteristiche delle acque sotterranee.

Tutti questi elementi devono essere definiti con le indagini specifiche.

b) Opere in progetto:

- dimensioni d'insieme dell'opera;
- caratteristiche della struttura in elevazione, con particolare riferimento alla sua attitudine ad indurre o a subire cedimenti differenziali;
- sequenza cronologica con la quale vengono costruite le varie parti dell'opera;
- distribuzione, intensità o variazione nel tempo dei carichi trasmessi alla fondazione, distinguendo i carichi permanenti da quelli accidentali, e questi, a loro volta, in statici e dinamici.

c) Fattori ambientali:

- caratteri morfologici e lineamenti geologici della zona;
- deflusso delle acque superficiali;
- presenza o caratteristiche di altri manufatti (edifici, canali, acquedotti, fogne, strade, muri di sostegno, gallerie, ponti, ecc.) esistenti nelle vicinanze o dei quali è prevista la costruzione.

Le fasi del progetto assumeranno ampiezza e grado di approssimazione diversi secondo l'importanza del manufatto e dei fattori sopra elencati, e in relazione al grado di sviluppo previsto per il progetto (preliminare, di massima, esecutivo).

Qualora non si adotti un unico tipo di fondazione per tutto il manufatto, si terrà conto dei diversi comportamenti dei tipi di fondazione adottati, in particolare per quanto concerne i cedimenti.

Nel caso di ponti, opere marittime e simili è necessario in particolare considerare la configurazione e la mobilità dell'alveo fluviale o del fondo marino, la erodibilità di questi in dipendenza del regime delle acque e delle caratteristiche dei terreni e del manufatto.

La costruzione di manufatti in zone franose, per i quali non è possibile una diversa localizzazione, richiede la valutazione delle azioni trasmesse dai terreni in movimento al manufatto ed alla sua fondazione. A tale fine è necessario definire le caratteristiche geometriche e cinematiche dei dissesti in conformità a quanto indicato dalla sezione G della norma.

C.3 PRESCRIZIONI PER LE INDAGINI

I rilievi e le indagini da effettuare in conformità alle direttive riportate alla sezione B hanno lo scopo di accertare la costituzione del sottosuolo e la presenza di acque sotterranee a pelo libero ed in pressione e di misurare e consentire la valutazione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni.

La profondità da raggiungere con le indagini va computata dalla quota più bassa dell'opera di fondazione. Essa va stabilita e giustificata caso per caso in base alla forma, alle dimensioni,

alle caratteristiche strutturali del manufatto, al valore dei carichi da trasmettere in fondazione, alle caratteristiche degli stessi terreni di fondazione ed alla morfologia di un'area di adeguata estensione intorno all'opera, nonché alla profondità ed al regime della falda idrica.

Indagini di carattere speciale devono essere eseguite nelle aree dove per motivate ragioni geologiche o relative al precedente uso del territorio possono essere presenti cavità sotterranee, possono manifestarsi fenomeni di subsidenza ed altri fenomeni che condizionino il comportamento statico dei manufatti.

Nel caso di modesti manufatti che ricadono in zone già note, le indagini in sito ed in laboratorio sui terreni di fondazione possono essere ridotte od omesse, sempreché

sia possibile procedere alla caratterizzazione dei terreni sulla base di dati e di notizie raccolti mediante indagini precedenti, eseguite su terreni simili ed in aree adiacenti. In tal caso, dovranno essere specificate le fonti dalle quali si è pervenuti alla caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo.

C.3. Prescrizioni per le indagini.

Nel caso di fabbricati di civile abitazione la profondità da raggiungere con le indagini può essere dell'ordine di $b \text{ o } 2b$, ove b è la lunghezza del lato minore del rettangolo che meglio approssima la forma in pianta del manufatto. Nel caso di fondazioni su pali, la profondità, computata dall'estremità inferiore dei pali, può essere dell'ordine di $0,5 b \text{ o } b$.

Delle indagini in sito si ricordano in particolare prove penetrometriche, statiche e dinamiche, e quelle scissometriche.

A seconda del tipo di terreno, queste prove possono efficacemente integrare le indagini di laboratorio per la determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni. Le indagini geotecniche di laboratorio, da effettuare presso laboratori qualificati nel settore della meccanica delle terre e delle rocce, saranno commisurate al tipo ed alle caratteristiche dell'opera e saranno programmate sulla base della natura dei terreni. Esse consentono di determinare le caratteristiche fisiche generali e le proprietà indici al fine di classificare i terreni, ed inoltre i parametri di resistenza necessari per la verifica a rottura del complesso fondazione-terreno.

Nel caso di terreni a grana fine, specifiche prove di laboratorio possono fornire i parametri che definiscono la comprimibilità e, ove necessario, le caratteristiche di consolidazione per valutare i cedimenti e il loro decorso nel tempo.

Nella programmazione delle prove di laboratorio si terrà conto che la resistenza e la deformabilità dei terreni dipendono dal valore delle tensioni nel sottosuolo (dovute al peso proprio del terreno ed ai sovraccarichi trasmessi dalla fondazione) e dalle modalità di applicazione nel tempo dei sovraccarichi stessi.

C.4 FONDAZIONI DIRETTE

C.4.1 CRITERI DI PROGETTO

Il piano di posa deve essere situato al di sotto della coltre di terreno vegetale, nonché al di sotto dello strato interessato dal gelo e da significative variazioni di umidità stagionali. Una scelta diversa deve essere adeguatamente giustificata. Le fondazioni devono essere direttamente difese o poste a profondità tale da risultare protette dai fenomeni di erosione del terreno superficiale. Nel progetto di una fondazione diretta si deve verificare che il comportamento della fondazione, tanto nei suoi elementi quanto nel suo complesso, sia compatibile con la sicurezza e con la funzionalità dell'opera.

A tal fine si devono determinare il carico limite del complesso di fondazione-terreno ed i cedimenti totali e differenziali. Limitatamente alle zone non sismiche, nei casi in cui una lunga e soddisfacente pratica locale indirizzi il progettista nella scelta del tipo di fondazioni, i calcoli di stabilità e la valutazione dei cedimenti possono essere omessi, ma le scelte devono essere documentate e giustificate in base ad un giudizio globale con esplicito riferimento alla situazione geotecnica del sottosuolo.

C.4. Fondazioni dirette.

C.4.1. Criteri di progetto.

Nel progetto si terrà conto della presenza di sottoservizi e dell'influenza di questi sul comportamento del manufatto.

Nel caso di reti idriche e fognarie occorre porre particolare attenzione ai possibili inconvenienti derivanti da immissioni o perdite di liquidi nel sottosuolo.

E' opportuno che il piano di posa di una fondazione sia tutto sullo stesso livello.

Ove ciò non sia possibile, le fondazioni adiacenti, appartenenti o non ad un unico manufatto, saranno verificate tenendo conto della reciproca influenza e della configurazione dei piani di posa.

Le fondazioni situate nell'alveo o nelle golene di corsi d'acqua possono essere

soggette allo scalzamento e perciò vanno adeguatamente difese e approfondite. Analoga precauzione sarà presa nel caso delle opere marittime.

C.4.2 CARICO LIMITE E CARICO AMMISSIBILE DEL COMPLESSO FONDAZIONE-TERRENO

Il carico limite del complesso fondazione-terreno, deve essere calcolato sulla base delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo e delle caratteristiche geometriche della fondazione.

Nel calcolo devono essere considerate anche le eventuali modifiche che l'esecuzione dell'opera può apportare alle caratteristiche del terreno ed allo stato dei luoghi.

Nel caso di manufatti situati su pendii od in prossimità di pendii naturali ed artificiali deve essere verificata anche la stabilità globale del pendio stesso, secondo quanto disposto alla sezione G, considerando nelle verifiche le forze trasmesse dalla fondazione.

Il carico ammissibile deve essere fissato come un'aliquota del carico limite. Il coefficiente di sicurezza non deve essere inferiore a 3.

Valori più bassi, da giustificare esplicitamente, potranno essere adottati nei casi in cui siano state eseguite indagini particolarmente accurate ed approfondite per la caratterizzazione geotecnica dei terreni con riguardo anche alla importanza e funzione dell'opera, tenuto conto del grado di affidabilità della valutazione delle azioni esterne, nonché dell'ampiezza del piano dei controlli da sviluppare durante la costruzione.

Per le verifiche in presenza di azioni indotte da sismi si adotteranno i criteri delle citate Norme Sismiche.

C.4.3 CEDIMENTI

I cedimenti assoluti e differenziali ed il loro decorso nel tempo devono essere compatibili con lo stato di sollecitazione ammissibile per la struttura e con la funzionalità del manufatto. La previsione dei cedimenti deve essere basata sul calcolo riferito alle caratteristiche di deformabilità dei terreni e delle strutture, tenendo in conto i valori dei carichi permanenti, il tipo e la durata di applicazione dei sovraccarichi.

Tale previsione può essere limitata ad un giudizio qualitativo se una lunga, documentata e soddisfacente esperienza locale consente di valutare il comportamento del complesso terreno-strutture.

C.4.3. Cedimenti.

Per effetto dei carichi trasmessi dalle opere di fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. Si definisce cedimento differenziale la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti.

In base alla evoluzione nel tempo si distinguono: cedimenti immediati e cedimenti differiti. I cedimenti differiti sono caratteristici dei terreni a grana fine poco permeabili e dei terreni organici.

La previsione dei cedimenti sarà basata su calcoli svolti con i procedimenti e con i metodi della geotecnica, tenuto conto delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

Nel caso di terreni a grana fine, i parametri che caratterizzano la deformabilità saranno di regola ottenuti con indagini di laboratorio. Nel caso di terreni a grana media o grossa, i parametri anzidetti, possono essere valutati sulla base dei risultati di indagini in sito.

Sulla base della previsione dei cedimenti sarà espresso un giudizio sulla loro ammissibilità con riferimento ai limiti imposti dal comportamento statico e dalla funzionalità del manufatto.

Qualora il manufatto in progetto possa influire sul comportamento statico e sulla funzionalità di manufatti adiacenti, il giudizio di ammissibilità sarà esteso a questi ultimi.

C.4.4 ELEMENTO STRUTTURALE DI FONDAZIONE

Per le verifiche di resistenza delle singole membrature o elementi di una fondazione si deve tenere conto delle reazioni del terreno, delle spinte dovute all'acqua e dell'influenza di sovraccarichi direttamente applicati al terreno.

I carichi e le azioni sopracitati vanno combinati in modo tale da dar luogo, in ciascun elemento strutturale della fondazione, al più sfavorevole stato di sollecitazione.

Nella valutazione degli stati di sollecitazione degli elementi strutturali di fondazione si deve tener conto della interazione terreno-struttura di fondazione-struttura in elevazione.

C.4.5 SCAVI DI FONDAZIONE

Nell'esecuzione degli scavi per raggiungere il piano di posa della fondazione si deve tener conto di quanto specificato al punto A 2, al punto D.2 ed alla sezione G.

Il terreno di fondazione non deve subire rimaneggiamenti e deterioramenti prima della costruzione dell'opera. Eventuali acque ruscellanti o stagnanti devono essere allontanate dagli scavi. Il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione deve essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro o altro materiale idoneo.

Nel caso che per eseguire gli scavi si renda necessario deprimere il livello della falda idrica si dovranno valutare i cedimenti del terreno circostante; ove questi non risultino compatibili con la stabilità e la funzionalità delle opere esistenti, si dovranno opportunamente modificare le modalità esecutive. Si dovrà, nel caso in esame, eseguire la verifica al sifonamento. Per scavi profondi, si dovrà eseguire la verifica di stabilità nei riguardi delle rotture del fondo.

C.5 FONDAZIONI SU PALI

C.5.1 CRITERI DI PROGETTO

Il progetto di una fondazione su pali comporta il dimensionamento della palificata e delle relative strutture di collegamento; esso comprende la scelta del tipo di palo e delle relative modalità di esecuzione e lo studio del comportamento del complesso palificata-terreno.

Deve essere determinato il carico limite del singolo palo e quello della palificata e verificata l'ammissibilità dei cedimenti della palificata in relazione alle caratteristiche delle strutture elevazione. In presenza di azioni indotte da sismi si adotteranno i criteri di verifica prescritti dalle norme sismiche.

Devono essere valutate le eventuali variazioni delle caratteristiche del terreno e le conseguenze che l'esecuzione della palificata può provocare su manufatti esistenti in zone vicine.

Qualora sussistano le condizioni geotecniche per cui possa manifestarsi il fenomeno dell'attrito negativo, si deve tener conto del corrispondente effetto nella scelta del tipo di palo, nel dimensionamento e nelle verifiche.

C.5. Fondazioni su pali

C.5.1. Criteri di progetto

A seconda delle modalità esecutive i tipi più comuni di pali di fondazione possono essere classificati in:

- pali prefabbricati ed infissi (es.: pali infissi a percussione, vibrazione, pressione, ecc.);

- pali gettati in opera senza asportazione di terreno;

- pali gettati in opera con asportazione di terreno.

L'interasse tra i pali va stabilito tenuto conto della funzione della palificata e del procedimento costruttivo. Di regola, e salvo condizioni particolari, l'interasse minimo deve essere pari a 3 volte il diametro del palo.

Per le palificate soggette anche a forze orizzontali di intensità non trascurabile si deve valutare lo stato di sollecitazione nel palo e nel terreno e verificarne l'ammissibilità sviluppando calcoli geotecnici specifici in presenza di tali forze.

C.5.2 INDAGINI SPECIFICHE

Le indagini devono essere eseguite in conformità con quanto precisato nella sezione B e devono essere dirette anche ad accertare la fattibilità e l'idoneità del tipo di palo in la fattibilità e l'idoneità del tipo di palo in relazione alle caratteristiche dei terreni e delle acque del sottosuolo.

Con le indagini si debbono accertare le caratteristiche del terreno di fondazione fino alla profondità interessata da significative variazioni tensionali.

C.5.2. Indagini specifiche.

L'indagine sul terreno si intende estesa dal piano di campagna fino alla profondità significativa al di sotto della punta dei pali.

C.5.3 CARICO LIMITE E CARICO AMMISSIBILE DEL PALO SINGOLO

La determinazione del carico limite del complesso palo-terreno deve essere effettuata con uno o più dei seguenti procedimenti: a) metodi analitici per la valutazione della resistenza alla base e lungo il fusto;

b) correlazioni basate sui risultati di prove in sito;

c) sperimentazione diretta su pali di prova (vedi punto C.5.5.); analisi del comportamento dei pali durante la battitura. Nel progetto si deve giustificare la scelta dei procedimenti di calcolo adottati.

La valutazione del carico assiale sul palo singolo deve essere effettuata prescindendo dal contributo delle strutture di collegamento direttamente appoggiate sul terreno.

La sperimentazione diretta con prove di carico su pali singoli o gruppi di pali, deve essere in ogni caso eseguita per opere di notevole importanza e quando, per le caratteristiche dei terreni, i risultati delle indagini non consentono di esprimere giudizi affidabili sul comportamento del palo.

Il valore del carico ammissibile del palo singolo rispetto al carico assiale limite deve essere fissato dividendo il corrispondente carico limite per un coefficiente di sicurezza da stabilire in relazione alle caratteristiche del terreno, al tipo ed alle modalità costruttive del palo.

Il valore del coefficiente di sicurezza non deve essere inferiore a 2,5 nel caso che il carico limite sia valutato con i metodi teorici. Nei casi nei quali vengano anche eseguite prove di carico fino a rottura di cui al punto C.5.5. può essere accettato un coefficiente di sicurezza inferiore ma non minore di 2, sempre che siano state eseguite approfondite e dettagliate indagini per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni. Nel caso di pali di diametro uguale o maggiore di 80 centimetri, la scelta del valore del coefficiente di sicurezza deve essere adeguatamente motivata e deve tener conto di cedimenti ammissibili.

Il palo dovrà essere verificato anche nei riguardi di eventuali forze orizzontali.

C.5.3. Carico limite e carico ammissibile del palo singolo.

Per la determinazione del carico assiale limite del complesso palo-terreno, si farà ricorso a:

a) formule statiche che consentono di valutare la resistenza alla base del palo e quella lungo il fusto;

b) formule dinamiche, basate su osservazioni acquisite durante la esecuzione dei pali infissi e battuti;

c) correlazioni empiriche basate sui risultati di prove penetrometriche;

d) sperimentazione diretta su pali di prova (vedi paragr. C.5.5. "Norme").

L'approssimazione del calcolo del carico limite, svolta con i procedimenti di cui ai precedenti punti a), b), c) dipende dalle schematizzazioni insite in detti procedimenti e da fattori variabili caso per caso. Pertanto deve essere giustificata la scelta del procedimento impiegato ed espresso un giudizio sulla attendibilità delle previsioni.

Nei casi in cui siano notevoli le incertezze sull'applicazione dei procedimenti o sui valori dei parametri da introdurre nei calcoli o sull'influenza della tecnica di esecuzione del palo sulle proprietà dei terreni, il carico assiale limite sarà stabilito in base ai risultati di prove di carico di progetto.

C.5.4 CARICO AMMISSIBILE DELLA PALIFICATA

Il carico ammissibile della palificata deve essere determinato tenendo conto del carico ammissibile del singolo palo e della influenza della configurazione geometrica della palificata, del tipo costruttivo di palo, della costituzione del sottosuolo e del tipo di struttura di collegamento orizzontale delle teste dei pali. Il carico ammissibile della palificata deve essere stabilito anche in relazione al valore dei cedimenti assoluti e differenziali compatibili con la sicurezza e la funzionalità dell'opera e di quelle adiacenti.

Quando i pali sono disposti ad interasse minore di tre diametri, sarà effettuata una ulteriore verifica nella quale la palificata sarà considerata una fondazione diretta di profondità pari alla lunghezza dei pali salvo più accurate analisi.

C.5.4. Carico ammissibile della palificata.

Il progetto della fondazione su pali deve comprendere considerazioni riguardanti i cedimenti della palificata e l'influenza di questi sulla sovrastruttura.

Il calcolo dei cedimenti può essere svolto sulla base di una opportuna schematizzazione delle sollecitazioni trasmesse dalla palificata al sottosuolo.

Le dimensioni degli elementi strutturali di collegamento tra i pali devono essere fissate in coerenza con le ipotesi adottate per la ripartizione dei carichi tra i pali stessi.

Questi elementi vanno verificati per la condizione di carico costituita dalle azioni ad essi trasmesse dalla sovrastruttura e dalle reazioni dei singoli pali.

C.5.5 PROVE DI CARICO

Le prove per la determinazione del carico limite del palo singolo di cui al punto C.5.3. devono essere spinte fino a valori del carico assiale tali da portare a rottura il complesso paloterreno o comunque tali da essere adeguatamente superiori al massimo carico di esercizio e comunque tali da consentire di ricavare significativi diagrammi dei cedimenti della testa del palo in funzione dei carichi e dei tempi.

Le prove di carico dei pali di diametro inferiore a 80 centimetri devono essere spinte ad almeno 1,5 volte il previsto carico assiale massimo di esercizio.

Il numero e l'ubicazione dei pali da sottoporre alla prova di carico devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera ed al grado di omogeneità del sottosuolo. Per opere di notevole importanza tale numero deve essere pari ad almeno l'1 per cento del numero totale dei pali, con un minimo di due.

C.5.5. Prove di carico. Prove di progetto.

Queste prove vengono effettuate su pali appositamente costruiti.

Esse hanno la finalità di determinare il carico limite del complesso palo-terreno, perciò vanno spinte fino a quel valore del carico per il quale si raggiunge la condizione di rottura del terreno. Ove ciò non sia possibile la prova deve essere eseguita fino ad un carico pari ad almeno 2,5 volte il carico di esercizio.

Prove di collaudo. - Queste prove vengono effettuate su pali della palificata durante ed al termine della sua costruzione, al fine di verificare se il comportamento dei pali corrisponde a quello previsto in progetto.

Esecuzione delle prove. - L'applicazione del carico sul palo sarà graduale e le modalità e durata della prova saranno fissate sulla base delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

La misura degli spostamenti della testa del palo deve essere riferita a punti fissi non influenzati dalle operazioni di prova.

Gli strumenti impiegati per le prove (flessimetri, manometri, martinetti, ecc.) devono essere tarati e controllati.

C.5.6 ELEMENTO STRUTTURALE DI COLLEGAMENTO

Per le verifiche di resistenza delle membrature o elementi strutturali di collegamento tra i pali si deve tener conto delle reazioni dei singoli pali, delle spinte dovute all'acqua e dell'influenza di sovraccarichi direttamente applicati al terreno. I carichi e le azioni sopracitati vanno combinati in modo tale da dar luogo in ciascun elemento strutturale della fondazione, al più sfavorevole stato di sollecitazione.

C.6 RELAZIONE SULLA FONDAZIONE

I risultati delle indagini e delle verifiche devono essere illustrati in una relazione apposita, facente parte integrante degli atti progettuali.

D. OPERE SOSTEGNO

D.1 OGGETTO DELLE NORME

Le norme contenute nella presente sezione si applicano ai muri di sostegno, alle paratie, alle palancolate ed alle armature per il sostegno di scavi e ad opere di sostegno costituite da terra mista ad altri materiali.

D.2 CRITERI DI PROGETTO

Il comportamento dell'opera di sostegno, intesa come complesso struttura-terreno, deve essere esaminato tenendo conto della successione e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione e di eventuali materiali di riporto, interessati dall'opera; dalle falde idriche, del profilo della superficie topografica del terreno prima e dopo l'inserimento dell'opera; dei manufatti circostanti; delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'opera; dei drenaggi e dispositivi per lo smaltimento delle acque superficiali e sotterranee e delle modalità di esecuzione dell'opera e del rinterro.

Deve essere verificata la stabilità dell'opera di sostegno e del complesso opera-terreno.

Le verifiche debbono essere effettuate nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione, tenendo conto delle possibili oscillazioni di livello dell'acqua nel sottosuolo.

Quando il terreno sia sede di moti di filtrazione l'opera deve essere verificata nei riguardi del sifonamento. Nel caso di opere su pendio o prossime a pendii si deve esaminare anche la stabilità di questi secondo quanto indicato alla sezione G.

Il progetto deve comprendere inoltre il dimensionamento delle opere di drenaggio e di raccolta delle acque superficiali, tenuto conto anche di quanto indicato alla sezione H e con le limitazioni prescritte alla sezione L.

Nel caso di scavi armati o delimitati da pareti, deve essere verificata anche la stabilità del fondo nei riguardi della rottura per sollevamento.

D.3 INDAGINI SPECIFICHE

Per i criteri generali di indagine si fa riferimento alla sezione B ed alla sezione C. Nel caso di modesti manufatti che ricadano in zone già note le indagini in sito ed in laboratorio sui terreni di fondazione possono essere ridotte od omesse, sempreché sia possibile procedere alla caratterizzazione dei terreni sulla base di dati e notizie raccolti mediante indagini precedenti, eseguite su terreni simili ed in aree adiacenti. In tal caso devono essere specificate le fonti dalle quali si è pervenuti alla caratterizzazione fisicomeccanica del sottosuolo.

Il volume significativo di cui al punto B.3 deve contenere le superfici di scorrimento possibili relative alla stabilità globale dell'opera, del terreno di fondazione e del terrapieno. In particolare, nei terreni sede di moti di filtrazione tale volume deve comprendere le zone dove possono aver luogo fenomeni di sifonamento.

D.4 VERIFICHE DEI MURI DI SOSTEGNO CON FONDAZIONI SUPERFICIALI

D.4.1 AZIONI SUL MURO DI SOSTEGNO

Le azioni dovute al terreno, all'acqua, ai sovraccarichi ed al peso proprio del muro devono essere calcolate e composte in modo da pervenire, di volta in volta, alla condizione più sfavorevole nei confronti delle verifiche di cui ai punti seguenti.

Le ipotesi di calcolo delle spinte sui muri devono essere giustificate con considerazioni sui prevedibili spostamenti relativi del muro rispetto al terreno. In particolare la spinta attiva può essere adottata nei casi in cui questo valore della spinta sia compatibile con i possibili spostamenti del muro.

Ai fini della verifica di cui al successivo punto D.4.2, non si tiene conto, nel calcolo,

del contributo di resistenza del terreno antistante il muro; in casi particolari, da giustificare con considerazioni relative alle caratteristiche meccaniche dei terreni ed ai criteri costruttivi del muro, se ne può tener conto con dei valori non superiori al 50 per cento della resistenza passiva.

D.4. Verifiche dei muri di sostegno con fondazioni superficiali.

D.4.1. Azioni sul muro di sostegno.

I più comuni tipi di muri di sostegno possono essere suddivisi dal punto di vista costruttivo in muri di pietrame a secco eventualmente sistemato a gabbioni; muri di muratura ordinaria o di conglomerato cementizio; muri di conglomerato cementizio armato, formati generalmente da una soletta di fondazione e da una parete con o senza contrafforti; speciali muri in terra costituiti da associazione di materiale granulare e armature metalliche ad alta aderenza e da un paramento articolato di pannelli prefabbricati in calcestruzzo.

Il coefficiente di spinta attiva assume valori che dipendono dalla geometria del paramento del muro e dei terreni retrostanti, nonché dalle caratteristiche dei terreni e del contatto terra-muro.

Nel caso di muri i cui spostamenti orizzontali siano impediti, la spinta può raggiungere valori maggiori di quelli relativi alla condizione di spinta attiva.

Per la distribuzione delle pressioni neutre occorre far riferimento alle differenti condizioni che possono verificarsi nel tempo in dipendenza, ad esempio, dell'intensità e durata delle precipitazioni, della capacità drenante del terreno, delle caratteristiche e della efficienza del sistema di drenaggio.

Le azioni sull'opera devono essere valutate con riferimento all'intero paramento di monte, compreso il basamento di fondazione. La verifica strutturale del muro sarà eseguita con i metodi della tecnica delle costruzioni.

D.4.2 VERIFICA ALLA TRASLAZIONE SUL PIANO DI POSA

Per la sicurezza lungo il piano di posa del muro, il rapporto fra la somma delle forze resistenti nella direzione dello slittamento e la somma delle componenti nella stessa direzione delle azioni sul muro deve risultare non inferiore a 1,3.

D.4.3 VERIFICA AL RIBALTAMENTO DEL MURO.

Il rapporto tra il momento delle forze stabilizzanti e quello delle forze ribaltanti rispetto al lembo anteriore della base non deve risultare minore di 1,5.

D.4.4 VERIFICA AL CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE-TERRENO

Questa verifica deve essere eseguita secondo quanto prescritto alla sezione C, tenendo conto dell'inclinazione ed eccentricità della risultante delle forze trasmesse dal muro al terreno di fondazione.

Il coefficiente di sicurezza non deve risultare minore di 2.

D.4.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Questa verifica riguarda la stabilità del terreno nel quale è inserito il muro, nei confronti di fenomeni di scorrimento profondo.

Il coefficiente di sicurezza non deve risultare inferiore ad 1,3.

D.5 VERIFICHE DI MURI DI SOSTEGNO FONDATI SU PALI

Le verifiche devono essere condotte come prescritto al paragrafo C.5.

D.6 DISPOSITIVI DI DRENAGGIO PER LA RIDUZIONE DELLE PRESSIONI NEUTRE E MODALITÀ COSTRUTTIVE

A tergo dei muri di sostegno deve essere realizzato un drenaggio in grado di garantire anche nel tempo un adeguato smaltimento delle acque piovane e di falda.

Il progetto del dreno deve comprendere la scelta dei materiali (naturali od artificiali) tenendo conto dei requisiti richiesti per la funzionalità e delle caratteristiche del terreno con il quale il dreno è a contatto, secondo i criteri per il dimensionamento dei filtri, di cui alla sezione N.

Il muro deve essere interrotto da giunti trasversali, estesi alla fondazione, quando lo

richiedano la lunghezza del manufatto e la natura del terreno. Nel caso in cui alle spalle del muro debba essere eseguito un rinterro, sono da eseguire le norme del punto E.3.

Il costipamento del rinterro, quando previsto, deve essere eseguito secondo quanto prescritto alla sezione E.

D.7 VERIFICA DELLE PARATIE

D.7.1 AZIONI SULLA PARETE

Le azioni dovute al terreno, all'acqua ed ai sovraccarichi anche transitori devono essere calcolate e composte in modo da pervenire di volta in volta alle condizioni più favorevoli nei confronti delle verifiche di cui al punto D.7.2.

Le ipotesi per il calcolo delle spinte e delle resistenze del terreno devono essere giustificate sulla base di considerazioni sui prevedibili spostamenti relativi parete-terreno, in relazione alla deformabilità dell'opera, alle sue condizioni di vincolo, alle modalità esecutive dell'opera e dello scavo ed alle caratteristiche del terreno.

Nel caso di paratie che debbano essere incorporate nella costruzione con funzione statica, le azioni sulle paratie dovranno essere calcolate con riferimento alle condizioni che si prevedono nelle diverse fasi di costruzione e in quella di esercizio ad opera finita.

D.7.2 VERIFICHE

I calcoli di progetto devono comprendere la verifica della profondità di infissione e quella degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Deve essere verificata la stabilità del fondo dello scavo, nei riguardi anche di possibili fenomeni di sifonamento.

Per opere che ricadano in prossimità di altri manufatti devono essere valutati gli spostamenti del terreno ed i loro effetti sulla stabilità e funzionalità dei manufatti.

Tale valutazione è prescritta anche nei casi nei quali sia necessario deprimere il livello della falda per poter eseguire gli scavi.

I valori dei coefficienti di sicurezza saranno assunti dal progettista e giustificati sulla base del grado di affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato.

D.8 ARMATURE PER IL SOSTEGNO DEGLI SCAVI

La verifica deve essere eseguita per scavi in trincea di profondità superiore ai due metri, nei quali sia prevista la permanenza di operai e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti.

Le azioni dovute al terreno, all'acqua ed ai sovraccarichi anche transitori devono essere calcolate in modo da pervenire di volta in volta alle condizioni più sfavorevoli.

Le ipotesi per il calcolo delle azioni del terreno sull'armatura devono essere giustificate con considerazioni sulla deformabilità relativa del terreno e dell'armatura sulla modalità esecutiva dell'armatura e dello scavo e sulle caratteristiche meccaniche del terreno e sul tempo di permanenza dello scavo.

D.9 RELAZIONE SULLE OPERE DI SOSTEGNO

I risultati delle indagini sui terreni, degli studi e delle verifiche devono essere raccolti nella relazione geotecnica facente parte integrante degli atti progettuali.

E. MANUFATTI DI MATERIALI SCIOLTI

E.1 OGGETTO DELLE NORME

Le presenti norme si applicano ai manufatti di materiali sciolti ed ai reinterri.

Le colmate e le discariche sono trattate alla sezione I.

Le dighe di ritenuta di materiali sciolti sono oggetto di norme tecniche specifiche.

E.1. Oggetto delle norme.

I manufatti di materiali sciolti sono ad esempio: rilevati per strade, ferrovie, aeroporti e piazzali, riempimenti a tergo di strutture di sostegno, argini e moli.

E.2 INDAGINI SUI TERRENI E SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Le indagini devono essere programmate e svolte secondo quanto prescritto alla sezione B e alla sezione C.3.

Nel caso di modesti manufatti che ricadano in zone già note le indagini in sito ed in laboratorio sui terreni di fondazione possono essere ridotte od omesse, semprechè sia possibile procedere alla caratterizzazione dei terreni sulla base di dati e notizie raccolti mediante indagini precedenti, eseguite su ed in aree adiacenti. In tal caso devono essere specificate le fonti dalle quali si è pervenuti alla caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo.

Nel progetto occorre considerare globalmente l'insieme manufatto-sottosuolo.

A tal fine devono essere definite la stratigrafia, le proprietà fisico-meccaniche dei terreni di fondazione e le caratteristiche di eventuali falde idriche.

Il progetto deve prevedere la scelta dei materiali; questa deve essere effettuata tenendo presenti le risorse naturali della zona, nel rispetto dei vincoli imposti dalla vigente legislazione. A tal fine dove si prevede l'apertura di cave di prestito devono essere effettuate indagini geologiche e geotecniche per accertare la disponibilità di materiali idonei e la possibilità di eseguire i lavori. Sui materiali prescelti devono essere eseguite indagini di laboratorio per definire la classificazione geotecnica e le caratteristiche di costipamento e quando necessario, le proprietà meccaniche e la permeabilità.

E.3 CRITERI DI PROGETTO

Il manufatto deve essere progettato tenendo conto dei requisiti richiesti per la sua funzione, nonché delle caratteristiche dei terreni di fondazione. Devono altresì essere indicate le fonti di approvvigionamento e le disponibilità dei materiali.

La stabilità dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive, al termine della costruzione e all'esercizio,

adottando i valori delle caratteristiche fisico-meccaniche determinate con le indagini di cui al punto E.2.

Per i rilevati il coefficiente di sicurezza riferito alla stabilità del sistema manufatto-terreno di fondazione non deve risultare inferiore a 1,3. Per gli argini vale quanto previsto dalle norme tecniche per le dighe di ritenuta di materiali sciolti. Per le opere costituite da terra mista ad altri materiali si dovranno eseguire anche le verifiche alla traslazione, al ribaltamento, al carico limite, come indicato ai punti D.4.2. -

D.4.3. - D.4.4. Il progetto dovrà essere integrato con le verifiche strutturali delle eventuali armature di rinforzo del rilevato.

Si deve verificare che i cedimenti, dovuti alle deformazioni dei terreni di fondazione e dei materiali costituenti il manufatto, siano compatibili con la funzionalità e la sicurezza del manufatto stesso. Si deve inoltre valutare l'influenza del manufatto in progetto sui manufatti esistenti ed indicare gli interventi occorrenti per limitare gli effetti sfavorevoli.

Nel caso di manufatti su pendii si deve esaminare anche l'influenza che la reazione dei manufatti può avere sulle condizioni di stabilità generali del pendio.

L'analisi deve essere sviluppata come indicato dal punto G.2. Il progetto di opere modeste per dimensioni e funzione, può essere basato su stime cautelative delle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale impiegato e del terreno di fondazione. Il progetto deve considerare anche tutti gli interventi per proteggere il manufatto dagli agenti esterni.

E.3. Criteri di progetto.

Per i rilevati ed i rinterri a tergo di opere di sostegno sono da preferire le terre a grana media o grossa. Terre a grana fine possono essere impiegate per opere di modesta importanza e quando non sia possibile reperire materiali migliori.

Si possono adoperare anche materiali ottenuti dalla frantumazione di rocce.

Sono da escludere materiali con forti percentuali di sostanze organiche di qualsiasi tipo e materiali fortemente rigonfiati.

I materiali per gli argini saranno scelti tenendo presenti i possibili motivi di filtrazione.

Per i dreni saranno adoperati materiali di elevata permeabilità; la loro granulometria sarà scelta in relazione alle caratteristiche dei materiali a contatto con i dreni stessi, secondo quanto disposto alla sezione N.

Per i moli saranno adoperati blocchi di rocce durevoli, in particolare nei confronti dell'acqua marina, e di dimensioni e caratteristiche idonee a resistere alle azioni esercitate dal moto ondoso. Limitatamente alla zona interna del manufatto possono essere adoperati materiali naturali o di frantumazione purché, privi di frazione fine e opportunamente protetti da filtri.

Per gli speciali muri in terra mista di cui al punto D.4. 1. i materiali da preferire saranno costituiti da terre con passante ai 15 micron non superiore al 20% e dovranno comunque obbedire, per le caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche, ai requisiti richiesti comunemente per tali tipi di opere.

Per la progettazione delle opere stradali e per l'impiego delle terre nei manufatti stradali, si rinvia alle apposite norme C.N.R. relative alla campionatura, alle prove sui materiali stradali ed alla tecnica di impiego delle terre.

Si rinvia anche alle "istruzioni per la redazione di progetti stradali" pubblicate dal C.N.R.

Per i manufatti di materiali sciolti nei quali trovano impiego anche elementi di rinforzo costituiti da altri materiali (noti in commercio con diversi tipi brevettati, come ad esempio "terra armata", ecc.) si richiama l'attenzione sulla necessità di effettuare verifiche anche relativamente al comportamento nei riguardi dell'azione aggressiva dell'ambiente ed in particolare delle acque.

E.4 POSA IN OPERA DEI MATERIALI

I materiali costituenti i manufatti devono essere posti in opera a strati e costipati per ottenere caratteristiche fisico-meccaniche in accordo con i requisiti progettuali. Al riguardo devono essere indicate in progetto le prescrizioni relative alla posa in opera precisando i controlli da eseguire durante la costruzione ed i limiti di accettabilità dei materiali.

La posa in opera senza costipamento è consentita, oltre che per manufatti di pietrame e nel caso di opere subacquee quale che sia il materiale impiegato, avuto riguardo all'importanza del manufatto. Le modalità della posa in opera e del costipamento devono essere considerate in progetto, sia nella definizione della sezione tipo dell'opera, sia nella valutazione delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali.

E.5 RELAZIONE

La relazione geotecnica deve comprendere la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni di fondazione e dei materiali da costruzione, la descrizione delle modalità di coltivazione delle cave di prestito e delle modalità di posa in opera dei materiali, le verifiche di stabilità della fondazione e del corpo del manufatto la previsione dei cedimenti e del loro andamento nel tempo, le verifiche del manufatto nei riguardi degli eventuali moti di rifiltrazione e la giustificazione degli eventuali accorgimenti costruttivi che da esse scaturiscono.

In particolare, per i drenaggi ed i filtri deve essere motivata, la scelta dei materiali naturali o artificiali, tenendo conto dei requisiti di funzionalità e delle caratteristiche granulometriche e di permeabilità del terreno con il quale essi si trovano a contatto.

F. GALLERIE E MANUFATTI SOTTERRANEI

F.1 OGGETTO DELLE NORME

Le presenti norme si applicano alle gallerie ed ai manufatti completamente immersi o nel terreno che si realizzano mediante scavo in sottoterraneo.

F.1. Oggetto delle norme.

I manufatti indicati nella relativa norma sono, ad esempio, gallerie idrauliche, stradali, ferroviarie con relativi imbocchi di estremità o intermedi (pozzi, finestre, discenderie), caverne per centrali idroelettriche, depositi o parcheggi sotterranei. Lo scavo in sottoterraneo può svilupparsi in differenti posizioni rispetto alla superficie

topografica:

- con piccolo ricoprimento di terreno (ad es.: gallerie metropolitane, subacquee, parietali);
 - con grande ricoprimento di terreno (ad es.: gallerie di valico, depositi sotterranei).
- Per le gallerie minerarie si rimanda alla normativa specifica. F.2. Indagini specifiche. Il programma di ricerche e di indagini sui terreni deve essere predisposto ed attuato sulla base della ricostruzione dei lineamenti geologici della zona ed in dipendenza dell'entità del ricoprimento. Nel caso di rocce fratturate le ricerche devono comprendere la descrizione qualitativa e quantitativa dello stato di fratturazione ed in genere delle discontinuità strutturali presenti nella formazione. F.3. Progetto.

F.2 INDAGINI SPECIFICHE

Le indagini per la scelta del tracciato del manufatto e per la raccolta dei dati da porre a base del progetto devono essere programmate e sviluppate secondo i criteri indicati nella sezione B tenendo in debito conto la complessità della situazione geologica, geotecnica, morfologica ed idrogeologica, la profondità e la lunghezza del manufatto ed il livello di progettazione (studio di fattibilità progetto di massima, progetto esecutivo).

I risultati delle indagini geologiche devono essere esaurientemente esposti e commentati in una relazione geologica. Qualora durante la realizzazione di un manufatto si riscontrano situazioni non evidenziate durante le indagini precedentemente eseguite, i risultati progettuali degli interventi si devono basare anche sui dati acquisiti in corso d'opera.

Gli elaborati dei dati osservati ed il loro monitoraggio, nei predetti casi, devono essere parte integrante degli atti progettuali.

F.3 PROGETTO

F.3.1 CRITERI DI PROGETTO

Nel progetto di manufatti sotterranei devono essere specificati ed adeguatamente giustificati:

- la scelta dell'ubicazione o del tracciato dell'opera in dipendenza dei risultati e delle indagini geologiche e delle indagini geotecniche;
- la previsione dei metodi di scavo, delle opere provvisorie e dei mezzi occorrenti per l'aggottamento eventuale o per la intercettazione dell'acqua sotterranea e degli eventuali procedimenti speciali per il consolidamento temporaneo o permanente del terreno;
- la previsione degli effetti che gli scavi e l'eventuale aggottamento d'acqua avranno sulla stabilità dei manufatti ricadenti nella zona di influenza dello scavo e degli eventuali provvedimenti da adottare;
- la previsione sull'eventuale presenza di gas tossici od esplosivi, sulle acque drenate dal sottosuolo e sulla ventilazione occorrente nel corso dei lavori ed in fase di esercizio;
- la definizione delle caratteristiche geometriche e strutturali del manufatto;
- il piano degli strumenti per il controllo del comportamento delle strutture e terreno durante il corso dei lavori ed eventualmente in fase di esercizio.

Nel progetto devono essere chiaramente indicate le ipotesi assunte per la valutazione delle componenti di sollecitazione che si destano nel sottosuolo nell'interno del manufatto ed il significato delle approssimazioni che ne conseguono.

F.3.1. Criteri di progetto.

Nella previsione progettuale dei metodi di scavo, particolare considerazione dovrà aversi per la sicurezza in avanzamento, per la stabilità di eventuali manufatti circostanti e per la sistemazione del materiale di risulta.

La costruzione di un'opera in sottoterraneo determina una modifica dello stato tensionale del sottosuolo rispetto alla situazione preesistente. Il nuovo stato di sollecitazione dipende dallo stato tensionale preesistente, dalla forma e dalle dimensioni dell'opera, dalla posizione di questa rispetto alla superficie esterna, dal metodo seguito nella costruzione e dalla successione delle varie fasi della

lavorazione, nonché dal tipo di rivestimento, provvisorio o definitivo, adottati. Ulteriori variazioni dello stato tensionale possono essere indotte nel sottosuolo durante l'esercizio dell'opera per effetto della spinta di fluidi convogliati dalla galleria o di sollecitazioni statiche e dinamiche dovute al traffico.

La grandezza delle deformazioni indotte nel terreno dalla costruzione di un'opera in sotterraneo dipende dallo stato tensionale del terreno, dall'azione dell'acqua eventualmente presente, nonché dal metodo di scavo adottato.

Gli spostamenti della superficie esterna per effetto dello scavo in sotterraneo, devono essere sempre valutati con prudenza, tenendo conto anche dell'effetto dell'eventuale abbassamento della falda provocato dalla costruzione dell'opera.

F.4 METODI DI SCAVO

La scelta dei metodi di scavo deve effettuarsi tenendo conto delle proprietà geotecniche dei terreni che si prevede di attraversare e dell'eventuale presenza di falde idriche e di altri manufatti indicati in prossimità del tracciato.

Il materiale di risulta deve essere sistemato in aree da indicare in progetto, tenendo conto delle prescrizioni della sezione I.

F.4. Metodi di scavo.

La stabilità del fronte di avanzamento dipende dallo stato dei terreni che si attraversano o di quelli immediatamente circostanti, dalla grandezza del ricoprimento in rapporto al diametro della galleria, dalla velocità di avanzamento, dalle caratteristiche della eventuale macchina di scavo, dai procedimenti che si seguono nella posa in opera dei sostegni e del priverivestimento. In particolari terreni (ad es.: sabbie fini di bassa porosità, argille dure fessurate, rocce fratturate) le condizioni di stabilità possono essere notevolmente modificate dagli effetti meccanici dei fenomeni di filtrazione o di percolazione dal fronte di scavo.

Eventuali metodi speciali di trattamento preventivo, previsti in progetto per migliorare temporaneamente o permanentemente le proprietà meccaniche dei terreni devono essere adeguatamente illustrati e giustificati, secondo quanto disposto alla sezione N.

Le previsioni di progetto devono essere sufficientemente ampie per tener conto di eventuali variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni lungo l'asse della galleria.

F.5 VERIFICA DEL RIVESTIMENTO

Le ipotesi per la verifica del rivestimento devono essere compatibili con il metodo e con i tempi di costruzione.

Nel progetto si deve tener conto della presenza di altri manufatti superficiali o sotterranei e si devono indicare gli eventuali vincoli da imporre per nuove costruzioni.

F.5. Verifica del rivestimento.

Il comportamento del rivestimento dipende dalle dimensioni e dalla profondità della galleria, dallo stato tensionale del sottosuolo, dalla rigidità della struttura, dal metodo, dalla sequenza e dai tempi delle operazioni di costruzione dell'eventuale priverivestimento.

Il comportamento del priverivestimento dipende principalmente dalle modalità e dall'accuratezza con le quali viene realizzato. Pertanto l'adeguatezza del rivestimento e dell'eventuale priverivestimento sarà controllata in fase costruttiva per mezzo di misure.

F.6 CONTROLLO DEL MANUFATTO

Le ipotesi assunte in progetto relativamente alla caratterizzazione meccanica dei terreni e delle rocce devono essere controllate sulla base delle osservazioni e dei dati sperimentali che si raccolgono nel corso dei lavori. Le osservazioni e le misure devono essere proseguite durante l'esercizio per un congruo periodo di tempo, che sarà indicato in progetto.

F.6. Controllo del manufatto.

Il programma dei controlli previsti in progetto indicherà la strumentazione da impiegare, nonché la ubicazione degli strumenti e la sequenza delle misure.

G. STABILITÀ DEI PENDII NATURALI E DEI FRONTI DI SCAVO

G.1 OGGETTO DELLE NORME

Le presenti norme si applicano allo studio della stabilità dei pendii naturali, al progetto delle opere di stabilizzazione di pendii e frane, nonché al progetto di scavi non armati che per le loro dimensioni (ampiezza e profondità), per le caratteristiche meccaniche dei terreni, rappresentino pericolo per la sicurezza.

G.1. Oggetto delle norme.

Le fronti di scavo indicate nella norma cui si riferiscono le presenti istruzioni, attengono ad esempio a scavi di fondazioni, trincee stradali, canali, ecc. Per le fronti di scavo in miniere e cave, si rimanda invece, alla normativa specifica.

G.2 PENDII NATURALI

G.2.1 ACCERTAMENTI DI CARATTERE GENERALE

L'accertamento della stabilità richiede osservazioni e rilievi di superficie, raccolta di notizie storiche sull'evoluzione dello stato del pendio e su eventuali danni subiti dalle strutture esistenti, la costruzione dei movimenti eventualmente in atto e dei loro caratteri geometrici e cinematici, la raccolta dei dati sulle precipitazioni meteoriche, sui caratteri idrogeologici della zona, su sismi e su precedenti interventi di consolidamento. Le verifiche di stabilità, anche in relazione alle opere da eseguire, devono essere basate su dati acquisiti con indagini specifiche.

G.2.1. Verifiche di stabilità

La stabilità dei pendii è influenzata da numerosi fattori tra i quali è generalmente necessario prendere in considerazione:

- a) caratteristiche morfologiche;
- b) caratteristiche geologiche, e proprietà fisico-meccaniche dei terreni costituenti il pendio;
- c) caratteristiche e circolazione delle acque sotterranee: pressioni interstiziali e nelle discontinuità dei terreni costituenti il pendio;
- d) peso proprio ed azioni esterne applicate alle opere insistenti sul pendio;
- e) carattere sismico della zona;
- f) fattori ambientali.

G.2.2 INDAGINI SPECIFICHE

I rilievi e le indagini devono effettuarsi secondo le prescrizioni della sezione B e secondo i criteri particolari seguenti:

- la superficie del pendio deve essere definita attraverso un rilievo plano-altimetrico in scala adeguata ed esteso ad una zona sufficientemente ampia a monte e a valle del pendio stesso;
- lo studio geologico, anche con l'ausilio della fotogeologia, deve precisare l'origine e la natura dei terreni, il loro assetto tettonico-strutturale, i caratteri ed i fenomeni geomorfologici e la loro prevedibile evoluzione nel tempo e lo schema della circolazione idrica nel sottosuolo;
- lo studio geotecnico deve definire caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, l'entità e la distribuzione delle pressioni dell'acqua nel terreno e nelle discontinuità, degli eventuali spostamenti planoaltimetrici di punti in superficie ed in profondità. La profondità e l'estensione delle indagini devono essere fissate in relazione alle caratteristiche geometriche del pendio, ai risultati dei rilievi indicati ai punti precedenti, nonché alla più probabile posizione della eventuale superficie di scorrimento. Nel caso di pendii in frana le indagini devono consentire di accertare la forma e la posizione della superficie o delle superfici di scorrimento, in quanto possibile, e di definire le caratteristiche cinematiche della frana.

G.2.2. Indagini specifiche.

Lo studio geologico comprenderà il rilevamento diretto delle discontinuità del terreno (giunti di stratificazione, faglie, diaclasi e fratture) delle quali saranno determinate la distribuzione spaziale, la frequenza e le caratteristiche. Attraverso una analisi geomorfologica quantitativa del pendio e delle aree adiacenti, inoltre, si ricercheranno le indicazioni sulla franosità della zona e su natura, caratteristiche e grandezza dei movimenti verificatisi in passato. La determinazione delle pressioni neutre va effettuata ponendo i piezometri in posizioni opportunamente scelte in relazione alle caratteristiche geometriche e stratigrafiche del pendio.

Le indagini di laboratorio saranno particolarmente dirette alla determinazione della resistenza al taglio, massima e residua.

Se la verifica di stabilità riguarda pendii naturali in frana, le indagini saranno dirette a definire la posizione e la forma delle eventuali superfici di scorrimento. Si prevederà a tal fine la posa in opera di basi e di picchetti ed il rilevamento periodico della loro posizione rispetto a capisaldi esterni all'area interessata dal movimento. Queste operazioni saranno volte a determinare la grandezza degli spostamenti e il loro andamento nel tempo, in relazione anche ai fattori meteorologici ed idraulici. Quando risulti necessario rilevare gli spostamenti in profondità si metteranno in opera inclinometri o apparecchi rilevatori di scorrimenti profondi. Gli spostamenti in profondità saranno riferiti a quelli misurati in superficie.

G.2.3 CALCOLI DI STABILITÀ

Il metodo di calcolo per la verifica della stabilità deve essere scelto tenendo conto della posizione e della forma delle possibili superfici di scorrimento, dell'assetto strutturale, delle caratteristiche meccaniche del terreno, nonché della distribuzione delle pressioni neutre. Nel caso di pendii in frana si devono adottare quei metodi - in quanto applicabili - che permettono di eseguire la verifica lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella riconosciuta con le indagini.

Negli altri casi si esamineranno superfici di scorrimento cinematicamente possibili in numero sufficiente per ricercare la superficie alla quale corrisponda, nel caso considerato, il coefficiente di sicurezza più basso.

Quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni neutre i calcoli di verifica devono essere effettuati assumendo le più sfavorevoli condizioni che ragionevolmente si possono prevedere.

Per i pendii ricadenti in zona sismica, la verifica di stabilità deve essere eseguita tenendo conto delle azioni sismiche, come prescritto dalle norme sismiche.

Il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.

G.2.4 INTERVENTI

Il progetto degli interventi di consolidamento di un pendio deve essere giustificato dai calcoli di stabilità sviluppati secondo quanto indicato al punto precedente.

Il piano dei controlli sulla efficacia dei provvedimenti deve essere parte integrante degli elaborati progettuali.

G.3 FRONTI DI SCAVO

G.3.1 INDAGINI SPECIFICHE

Le indagini specifiche sono quelle indicate al punto G.2.2. Esse possono essere eseguite anche parzialmente sviluppate a seconda delle condizioni locali, della profondità, dell'ampiezza, della destinazione e della durata dello scavo.

G.3.1. Indagini specifiche.

In merito alle indagini specifiche da svolgere si precisa che: a) i rilievi topografici e lo studio geologico saranno estesi ad un'area più ampia di quella direttamente interessata ai lavori;

- b) le indagini geotecniche in sito saranno volte a riconoscere la costituzione del sottosuolo ed a determinare i valori della pressione dell'acqua interstiziale e nelle discontinuità. La profondità delle esplorazioni sarà stabilita in relazione a quella dello scavo, avendo cura di estendere l'indagine a monte del previsto ciglio ed al di sotto della quota di fondo scavo;
- c) le indagini geotecniche di laboratorio si svolgeranno secondo quanto indicato al punto G.2.2.

G.3.2 CRITERI DI PROGETTO E CALCOLI DI STABILITÀ

Il progetto deve definire un profilo di scavo tale che il terreno sia stabile con adeguato margine di sicurezza, da valutarsi con i metodi di calcolo indicati al punto G.2.3.

Nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1,3.

Nelle altre situazioni il valore del coefficiente di sicurezza da adottare deve essere scelto caso per caso, tenuto conto principalmente della complessità strutturale del sottosuolo, delle conoscenze del regime delle pressioni neutre e delle conseguenze di un eventuale fenomeno di rottura. Si deve tener conto dell'esistenza di manufatti e sovraccarichi in prossimità del ciglio di scavo.

Nel progetto deve essere esaminata l'eventuale influenza dello scavo sul regime delle acque superficiali e sotterranee dell'area interessata.

H. FATTIBILITÀ GEOTECNICA DI OPERE SU GRANDI AREE

H.1 OGGETTO DELLE NORME

Le presenti norme comprendono i criteri di carattere geotecnico da adottare nell'elaborazione di piani urbanistici e nel progetto di insiemi di manufatti che interessano ampie superfici e che possono comportare variazioni significative nelle condizioni del sottosuolo, quali:

- a) nuovi insediamenti urbani o civili o industriali;
- b) ristrutturazione di insediamenti già esistenti, compresi quelli da consolidare e trasferire ai sensi della legge 9-7-1980 n. 445, e successive modificazioni ed integrazioni;
- c) reti idriche e fognarie urbane e reti di sottoservizi di qualsiasi tipo;
- d) strade, ferrovie ed idrovie;
- e) opere marittime e difese costiere;
- f) aeroporti;
- g) bacini artificiali e sistemi di derivazione da corsi d'acqua;
- h) sistemi di impianti per l'estrazione di liquidi o di gas dal sottosuolo;
- i) bonifiche e sistemazione del territorio;
- l) attività estrattive di materiali da costruzione.

H.2 INDAGINI SPECIFICHE

Gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica devono essere estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti.

Le indagini devono in particolare accertare le condizioni di stabilità dei pendii, tenuto conto anche di eventuali effetti derivanti dalla realizzazione delle opere.

Saranno inoltre considerati i fenomeni di subsidenza prodotti da modifiche del regime delle acque superficiali e profonde, nonché da asportazioni o riporti di materiali terrosi.

Per l'elaborazione di piani urbanistici in zone sismiche le indagini devono essere finalizzate alla caratterizzazione del territorio per la ricerca dei parametri di progetto in accordo con quanto previsto dalle norme sismiche.

H.2. Indagini specifiche.

Al fine dell'accertamento della fattibilità dell'opera saranno raccolte informazioni atte a definire:

- le caratteristiche topografiche e geomorfologiche della zona;
- i caratteri delle acque superficiali e sotterranee;

- le caratteristiche ed il comportamento di manufatti esistenti nei dintorni.
Lo studio geologico definirà i lineamenti geomorfologici e la loro tendenza evolutiva, i caratteri stratigrafici e strutturali, il grado di alterazione, la degradabilità e la fessurazione degli ammassi rocciosi, nonché lo schema idrogeologico.
Lo studio geotecnico sarà atto a definire le proprietà fisico-meccaniche dei principali tipi di terreni, la posizione e le caratteristiche delle eventuali falde idriche. Per questo saranno eseguite indagini in sito e in laboratorio, secondo i criteri indicati nella sezione B, e proporzionate alla prevista destinazione dell'area. Sarà accertata l'eventuale esistenza di cavità naturali o artificiali nel sottosuolo, di dimensioni significative ai fini del progetto.
Nel caso di aree, che, in tutto o in parte, ricadano in specchi d'acqua marini, lacuali o fluviali, i predetti studi saranno estesi ai fondali e devono essere integrati dal rilievo della batimetria che comprenda anche le zone adiacenti, significative ai fini della destinazione dell'area.

H.3 VERIFICHE DI FATTIBILITÀ

Prima della progettazione delle singole opere per le quali valgono le norme specifiche, occorre verificare e documentare con relazione tecnica la fattibilità dell'insieme dal punto di vista geologico e geotecnico e, se necessario, individuare i imposti al progetto dalle caratteristiche del sottosuolo.
Per le zone sismiche si dovrà documentare il rispetto dei previsti vincoli.

H.3. Verifiche di fattibilità.

La verifica di fattibilità geologica e geotecnica comprende l'accertamento delle modifiche che il sistema di opere in progetto può indurre nell'area e deve precisare se le condizioni locali impongano l'adozione di soluzioni e procedimenti costruttivi di particolare onerosità.
Nel caso di pendii sarà accertata la stabilità di insieme con riferimento alla condizione precedente la realizzazione delle opere in progetto ed a seguito della costruzione di tali opere, secondo quanto prescritto nella sezione G.
Nel caso di reti idriche o fognarie, ed in genere di sottoservizi in zone già urbanizzate o da urbanizzare, sarà accertata l'influenza di esse sui manufatti esistenti, sia in fase di costruzione che di esercizio a seguito di guasti o rotture.
Per l'estrazione di liquidi o gas dal sottosuolo saranno valutate le deformazioni provocate dalle variazioni dello stato tensionale effettivo, i conseguenti spostamenti della superficie topografica e la loro influenza sulla stabilità e sulla funzionalità dei manufatti esistenti secondo quanto trattato nella sezione L.

I. DISCARICHE E COLMATE

La presente norma si applica agli accumuli di materiali sciolti di qualsiasi natura. Nel rispetto degli strumenti urbanistici e delle norme vigenti sulla protezione delle acque, sulla salvaguardia del paesaggio, e dell'igiene pubblica, la scelta delle aree da destinare a discarica o colmata va eseguita sulla base di studi geologici, geotecnici e idrogeologici.

Le discariche e le colmate devono essere realizzate sulla base un progetto che ne stabilisca le dimensioni e le modalità di posa opera, indichi i provvedimenti necessari per la conservazione della stabilità nel tempo, tenendo conto anche della futura destinazione dell'area, esamini la stabilità dell'insieme terreno di fondazione-discarica con particolare riguardo alla stabilità dei pendii e consideri l'influenza sulle opere presenti nei dintorni.

Lo studio dell'area da destinare a discarica o colmata deve prevedere tutte le opere di raccolta e canalizzazione delle acque superficiali e profonde, nonché delle eventuali acque drenate nel tempo dal corpo stesso della discarica.

I. Discariche colmate.

In questa categoria rientrano gli accumuli di materiali sciolti di qualsiasi natura, inclusi quelli versati alla rinfusa (ad esempio, depositi di rifiuti urbani e industriali, materiali di risulta di scavi e demolizioni, discariche minerarie).

L'entità degli accertamenti e degli studi da svolgere va commisurata all'esigenza di sicurezza, all'importanza della discarica, alla morfologia della zona e alla presenza nel sottosuolo di terreni di bassa resistenza ed alle possibili influenze sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea e sulla quantità delle acque.

In merito ai "provvedimenti necessari per la stabilità nel tempo" si richiama la necessità di far ricorso ad una idonea strumentazione di controllo, laddove si presentino casi particolarmente importanti per altezze, volumi ed ubicazione del territorio.

Il richiamo delle norme all'aspetto idrogeologico riguarda principalmente possibili riflessi negativi dell'intervento sulla circolazione idrica nel sottosuolo.

L. EMUNGIMENTI DI FALDE IDRICHE

La presente norma si applica alle opere ed agli interventi riguardanti l'estrazione di acqua dal sottosuolo. Nel progetto delle opere di emungimento si deve accertare che queste siano compatibili con le caratteristiche dell'acquifero e che eventuali conseguenti cedimenti della superficie del suolo siano compatibili con la stabilità e la funzionalità dei manufatti presenti nella zona interessata dall'emungimento.

Il progetto deve stabilire anche i mezzi e le modalità di estrazione, in modo da evitare che con l'acqua venga anche estratto il terreno o la sua frazione più fina.

L. Emungimenti da falde idriche

Il modello fisico assunto a base della progettazione delle opere e degli interventi sarà ottenuto da specifici studi idrogeologici e geotecnici.

M. CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI

La presente norma si applica agli interventi di consolidamento dei terreni e delle rocce aventi lo scopo di modificare permanentemente o temporaneamente le caratteristiche meccaniche per mezzo di procedimenti tecnologici di vario tipo.

Il progetto degli interventi di consolidamento deve comprendere:

- a) caratterizzazione del sottosuolo con particolare riferimento all'analisi delle condizioni che rendono necessario l'intervento;
- b) analisi del tipo di intervento prescelto in relazione alle opere da realizzare e con riferimento a manufatti vicini;
- c) dimensionamento esecutivo degli interventi e descrizione di dettaglio dei procedimenti costruttivi;
- d) prescrizioni sulla verifica dell'esito dell'intervento attraverso indagini e controlli in corso d'opera.

N. DRENAGGI E FILTRI

Le presenti norme si applicano ai manufatti formati da uno o più strati di materiale sabbioso-ghiaioso o di materiali sintetici, costruiti allo scopo di controllare e regolare la filtrazione e le pressioni neutre delle acque nel sottosuolo, nell'interno dei manufatti di materiali sciolti ed al contatto fra strutture e terreno.

Il progetto di drenaggi e filtri deve comprendere la scelta dei materiali tenendo conto dei requisiti richiesti per la funzionalità dei filtri stessi e delle caratteristiche del terreno con il quale essi sono a contatto.

N. Drenaggi e filtri

I manufatti indicati nella relativa norma hanno lo scopo di:

- abbassare il livello della falda idrica o ridurre il valore delle pressioni neutre nel sottosuolo o in manufatti di materiali sciolti;
- eliminare o ridurre le pressioni neutre a tergo di strutture di sostegno;
- consentire la filtrazione verso l'esterno di acque circolanti nel sottosuolo o in manufatti di materiali sciolti senza causare il sifonamento;
- interrompere l'eventuale risalita di acqua per capillarità.

I drenaggi ed i filtri, in relazione alle finalità per cui vengono realizzati, devono essere progettati in modo da soddisfare i seguenti requisiti:

- a) il materiale filtrante deve essere più permeabile del terreno con il quale è a contatto;
 - b) la granulometria del materiale filtrante deve essere tale da evitare che particelle di terreno causino intasamento del filtro e del drenaggio;
 - c) lo spessore dello strato filtrante deve essere sufficientemente elevato da consentire una buona distribuzione delle frazioni granulometriche nello strato stesso e deve essere definito tenendo conto anche dei procedimenti costruttivi.
- Se i criteri di progetto sopra elencati non possono essere soddisfatti con un solo strato filtrante, sarà impiegato un tipo a più strati. Ciascuno strato filtrante nei riguardi di quelli adiacenti, sarà progettato alla stessa stregua di un filtro monostrato.

I tubi disposti nei drenaggi allo scopo di convogliare l'acqua raccolta devono essere dimensionati tenendo conto della portata massima ed i fori di drenaggio dei tubi vanno dimensionati in modo da evitare che granuli del materiale filtrante penetrino nelle tubazioni stesse. I materiali naturali o artificiali da impiegare per la confezione di drenaggi e filtri, saranno formati da granuli resistenti e durevoli e non devono contenere sostanze organiche o altre impurità.

Le acque ruscellanti in superficie non devono penetrare entro i drenaggi e i filtri; esse devono essere regolate e raccolte mediante canalizzazioni.

Il terreno formante il piano di posa di drenaggio e filtri non deve subire rimaneggiamenti, deve essere sufficientemente consistente e se necessario costipato.

Durante la costruzione vanno eseguiti regolari controlli della granulometria del materiale impiegato.

Il materiale del filtro e del drenaggio va posto in opera evitando la separazione delle frazioni granulometriche, O.

O. ANCORAGGI

O.1 OGGETTO DELLE NORME

Le presenti norme si applicano a tutti i tipi di armature (ancoraggi), attive o passive, inserite in terreni od in rocce (tiranti, bulloni, chiodi) allo scopo di aumentare la resistenza al taglio, specie lungo superfici di discontinuità.

O.1. Definizioni

Tiranti di ancoraggio: elementi strutturali operanti in trazione atti a trasmettere forze al terreno. Sono elementi costitutivi del tirante: il dispositivo di ancoraggio e la piastra di ripartizione, l'armatura e la guaina; il dispositivo di ancoraggio.

In base alla tensione nell'armatura si definiscono:

pretesi: tiranti nella cui armatura viene indotta una forza di tesatura, pari a quella di esercizio;

parzialmente pretesi: tiranti nella cui armatura viene indotta una forza di tesatura inferiore a quella di esercizio;

non pretesi: tiranti nella cui armatura non viene indotta alcuna forza di tesatura.

Bulloni di ancoraggio: tipi particolari di tiranti caratterizzati dall'armatura costituita da barre, dall'assenza di guaina, dalla limitata lunghezza e dall'impiego in ammassi rocciosi.

Chiodi di ancoraggio: sono ancoraggi non pretesi costituiti da elementi strutturali operanti in un dominio di trazione e taglio. I chiodi sono formati da una barra (o da

un profilato) di acciaio connessa per tutta la sua lunghezza con il terreno e priva di dispositivi di bloccaggio esterni.

O.2 INDAGINI SPECIFICHE

Le indagini da eseguire in conformità alle direttive riportate nella sezione B, devono raccogliere i dati occorrenti per il progetto degli ancoraggi, per la verifica della stabilità globale e per il controllo del comportamento dell'insieme costituito dall'eventuale struttura ancorata, dagli ancoraggi e dal terreno comunque interessato.

Le indagini devono definire la composizione, le caratteristiche strutturali e le proprietà fisico-meccaniche dei terreni del sottosuolo interessato dal complesso delle opere e riconoscere se l'ambiente nel quale gli ancoraggi ricadono sia aggressivo per i materiali che li costituiscono.

O.2. Indagini specifiche

L'indagine va condotta sulle parti del suolo e del sottosuolo che interagiscono con il sistema di ancoraggi e con l'eventuale struttura ancorata.

L'indagine dovrà definire le situazioni topografica, geologica e geotecnica. Dovranno essere raccolti dati relativi ai caratteri geo-morfologici ed alle condizioni di stabilità generali della zona interessata dai lavori; ai caratteri litologici e strutturali dei terreni, al regime di circolazione ed alle caratteristiche chimiche delle acque del sottosuolo. In particolare l'indagine dovrà consentire di definire le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e delle rocce in sede con riferimento anche al loro comportamento nel tempo. Per il progetto e l'esecuzione degli ancoraggi si potrà fare riferimento a: AICAP (1983). Ancoraggi nei terreni e nelle rocce - Raccomandazioni - Edizione provvisoria.

O.3 CRITERI DI PROGETTO

Nel progetto si deve tener conto del tipo e delle finalità dell'intervento (provvisorio, definitivo), delle sollecitazioni prevedibili, della natura e delle caratteristiche del sottosuolo, nonché dei problemi esecutivi per l'installazione del cantiere. In dipendenza occorre fissare la tecnologia esecuzione; l'orientazione, la lunghezza, il numero degli ancoraggi; lo sforzo ammissibile.

O.3.1 VERIFICA AL CARICO LIMITE

Questa verifica deve essere eseguita per valutare la resistenza a trazione dell'ancoraggio la quale dipende, a seconda dei casi, dalla resistenza alla sfilamento della connessione ancoraggio-

terreno, dalla resistenza del terreno (sciolo o lapideo)

nell'immediato intorno della connessione o dalla resistenza della barra.

Per la valutazione del carico limite, si può procedere in prima approssimazione con formule teoriche; è però necessaria la conferma sperimentale con prove di trazione in sito in fase di progetto e di collaudo.

O.3.2 VERIFICA AL CREEP

Per gli ancoraggi in terre coerenti o in terre incoerenti, deve essere valutata la resistenza allo slittamento in funzione del tempo, tenendo conto del comportamento viscoso del terreno e dei materiali che costituiscono l'ancoraggio.

O.3.3 PROVE DI CARICO

Poiché la riuscita degli ancoraggi dipende in larga misura da dettagli tecnologici, il comportamento dell'insieme ancoraggio terreno deve essere determinato con prove di carico su ancoraggi di prova realizzati nello stesso sito e con lo stesso sistema costruttivo.

Le prove per la determinazione del carico limite del singolo ancoraggio devono essere spinte a valori del carico tali da portare a rottura il complesso ancoraggio-terreno.

Le prove di collaudo, al fine di controllare gli ancoraggi eseguiti, devono essere in numero sufficiente per accertare il buon funzionamento dell'opera.

La prova consiste in un ciclo semplice di carico e scarico sottoponendo l'ancoraggio ad una forza pari ad 1,2 volte la prevista forza di esercizio.